

川西须家河组前陆盆地构造层序及沉积充填响应特征

刘君龙¹, 纪友亮¹, 杨克明², 宋虹玉¹, 刘大卫¹, 王天云¹, 郑占义³

(1. 中国石油大学油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249; 2. 中国石油化工股份有限公司西南分公司, 四川成都 610081; 3. 中国石油大庆油田榆树林油田有限责任公司, 黑龙江大庆 163000)

摘要:川西坳陷在须家河组沉积期为典型的周缘前陆盆地,受幕式造山运动的控制,其构造层序具有“二元体系域”的特征,即强烈造山期体系域和构造宁静期体系域。构造运动不仅控制着前陆盆地的层序地层发育,也会分配层序内部的沉积物充填。基于 Vail 经典层序地层学理论,综合利用地震、测录井等资料,分析研究区内构造层序类型及主控因素,阐明不同构造层序内部的沉积充填响应特征。结果表明:须家河组在前陆盆地期(须二段—须五段)可以划分为 2 个构造层序,其中须二段和须四段为强烈造山期体系域,须三段和须五段为构造宁静期体系域;构造运动是控制研究区构造层序发育的主要因素;强烈造山期体系域以粗粒沉积为主,发育冲积扇—辫状河三角洲—湖泊沉积体系,构造宁静期体系域以细粒沉积为主,发育曲流河三角洲—滨浅湖沉积体系。

关键词:构造层序;二元体系域;沉积充填响应;须家河组;川西前陆盆地

中图分类号:P 624.6

文献标志码:A

引用格式:刘君龙,纪友亮,杨克明,等.川西须家河组前陆盆地构造层序及沉积充填响应特征[J].中国石油大学学报(自然科学版),2015,39(6):11-23.

LIU Junlong, JI Youliang, YANG Keming, et al. Tectono-stratigraphy and sedimentary infill characteristics of Xujiahe Formation in western Sichuan foreland basin[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2015, 39(6):11-23.

Tectono-stratigraphy and sedimentary infill characteristics of Xujiahe Formation in western Sichuan foreland basin

LIU Junlong¹, JI Youliang¹, YANG Keming², SONG Hongyu¹, LIU Dawei¹, WANG Tianyun¹, ZHENG Zhanyi³

(1. State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting in China University of Petroleum, Beijing 102249, China;
2. Southwest Company, SINOPEC, Chengdu 610081, China;
3. Daqing Oil Company, CNPC, Daqing 163000, China)

Abstract: The tectono-stratigraphy in Xujiahe Formation is characterized by binary system tracts (tectonically active and tectonically stable) in western Sichuan depression, coincided with its episodic-orogenesis evolution phases as a peripheral foreland basin. Tectonic activity is suggested not just to control sequence stratigraphy development, but also to assign the sediment-infilling patterns within sequence successions. Based on Vail's sequence stratigraphy theory, integration of data from boreholes with seismic reflection allowed the analysis of tectono-stratigraphy types and their main controlling factors, as well as the illustration of sedimentary characteristics in or between orogeny episodes. The results show that Xujiahe Formation's sub-members ($T_3x^2-T_3x^5$) alternatively shift between the binary system tracts: T_3x^2 and T_3x^4 belong to the tectonically active system tracts, while T_3x^3 and T_3x^5 are the tectonically stable ones. Tectonic activity controls tectono-stratigraphy development. Coarse grained deposition dominates in the tectonically active system tracts, as seen in alluvial fan-braided river delta-lacustrine facies which prevail in T_3x^2 and T_3x^4 ; on the other hand fine grained sediments distribute widely in the tectonically stable system tracts, as evidenced by meandering river delta-lacustrine and swamp facies which predominate in T_3x^3 and

收稿日期:2015-02-05

基金项目:国家自然科学基金项目(41272157);国家科技重大专项(2011ZX05003-002)

作者简介:刘君龙(1988-),男,博士,研究方向为沉积学与石油地质学。E-mail:jl_liu2007@sina.cn。

T_3X^5 .

Keywords: tectono-stratigraphy; binary system tracts; sedimentary infill; Xujiahe Formation; western Sichuan foreland basin

在前陆盆地,构造运动是控制盆地内部层序地层发育和沉积体系展布的主要因素^[14]。根据构造活动的强弱和影响范围等因素可以对层序地层进行分级^[5],分别为一级层序、二级层序和三级层序等。此次研究的构造层序,即二级层序,是指以较为明显的区域性的不整合间断面及其对应的整合面为层序边界,形成时间大约为 10 Ma,厚度在数百米至数千米的地层单元。川西坳陷在须家河组沉积期为典型的前陆盆地,受龙门山幕式造山运动的影响,一个完整的构造层序由强烈造山期体系域和构造宁静期体系域两个体系域组成,其间以层序的初始湖泛面为界,表现为“二元体系域”的特征^[10-15]。近几年,随着盆-山耦合理论的提出与深化,活动性盆地边缘的构造活动对沉积充填的控制作用逐渐成为国内外学者的研究热点,其中以前陆盆地尤为突出^[14, 6-21],分析了层序地层发育控制因素,建立了沉积演化模式。在川西前陆盆地,前人从沉积环境^[16]、层序地层^[17]、构造期次与分带性^[18-21]等方面开展了研究,

这些成果很好地解释了川西前陆盆地沉积特征与构造演化规律,但是在前陆盆地构造层序“二元体系域”划分及其构造如何控制层序,进而分配沉积物等方面研究较少。笔者综合利用地震、测录井等资料,对川西前陆盆地构造层序及沉积充填响应特征进行分析,系统研究不同构造层序内部沉积体系展布规律和垂向演化特征,并建立川西须家河组前陆盆地构造-沉积充填模式。

1 区域地质背景

1.1 研究区位置

川西坳陷位于龙门山冲断带与龙泉山前陆隆起带所限定的四川盆地西部,是晚三叠世以来形成的叠覆型盆地^[22-24],研究区川西坳陷中段西南缘以龙门山冲断带为界,北缘至安县,南缘至成都一线,东缘以龙泉山隆起带为边界(图 1),研究区面积约为 $1.1 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

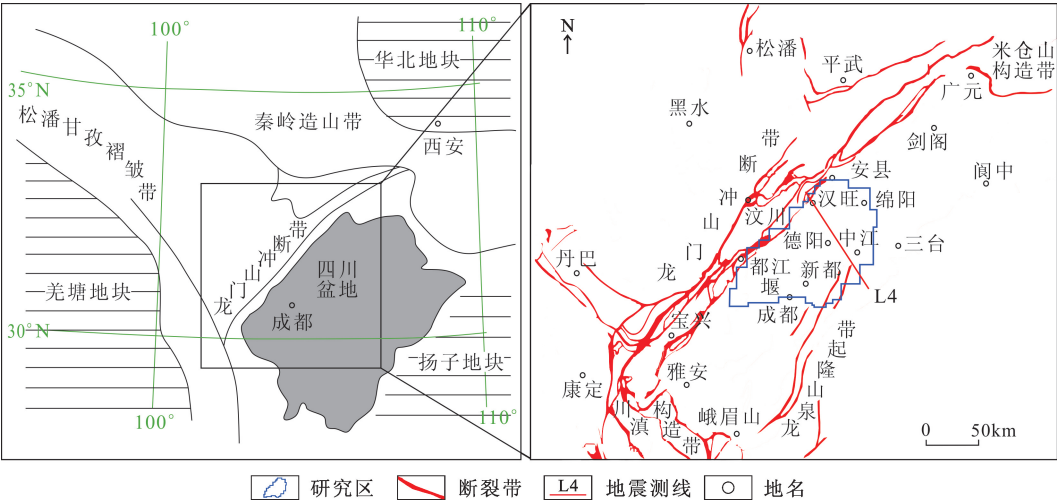


图 1 川西坳陷区域地质简图

Fig. 1 Simplified geological map of western Sichuan depression

1.2 构造演化

川西坳陷在须家河组沉积期受印支运动的影响^[16-24]共发生了 3 次主要的构造运动,分别为印支一幕、印支二幕和印支三幕,进而控制着龙门山周缘前陆盆地 3 个演化阶段:前陆初始发育期、前陆强烈隆升期和前陆构造衰亡期。

1.2.1 前陆初始发育期

晚三叠世的早期(图 2 和图 3),在小塘子组(与

马鞍塘组统称须一段^[20-26])接受沉积时期龙门山开始隆起,川西坳陷内部的海水由西南向外排出,表现为海陆过渡相;须二段沉积期,川西坳陷进入周缘前陆盆地演化阶段,龙门山北段已经隆升遭受剥蚀,但龙门山南段仍是水下隆起或尚未隆起^[25];须三段沉积期,沉积了一套区域分布范围较广的湖泛泥岩,发育三角洲和湖相沉积^[26]。

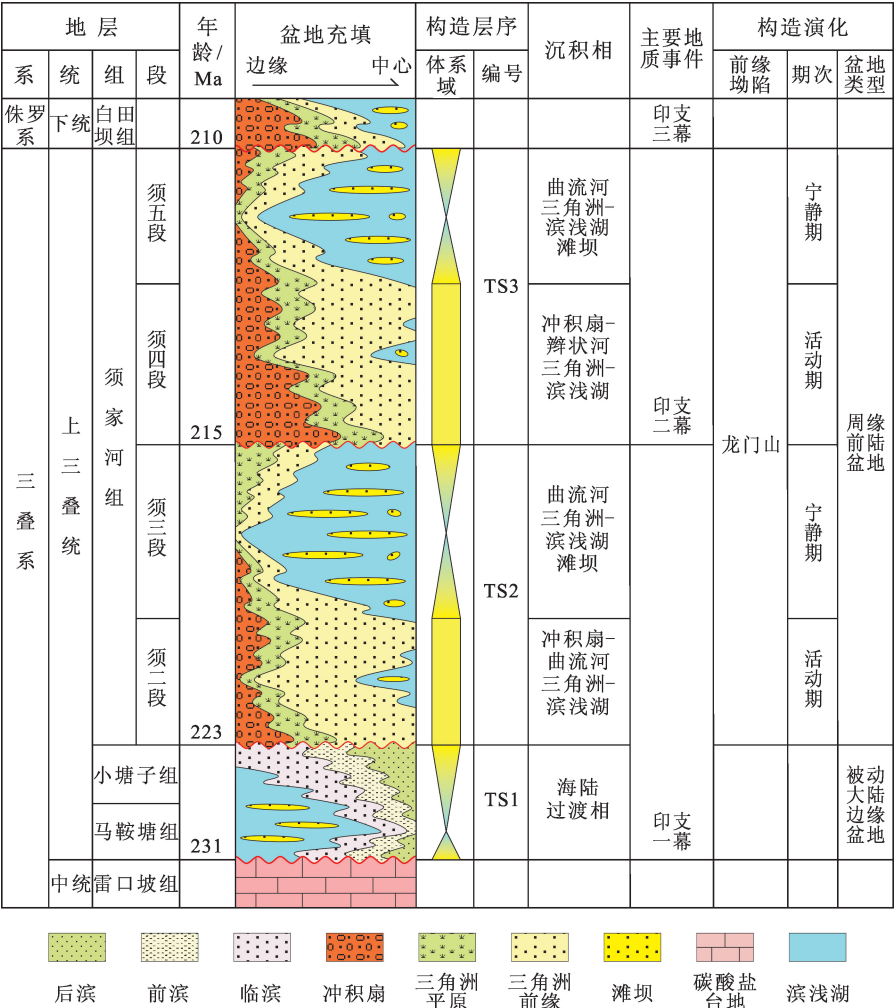


图 2 川西拗陷须家河组构造层序及沉积演化柱状图

Fig. 2 Tectono-stratigraphy characteristics and sedimentary evolution of Xujiahe Formation in western Sichuan depression

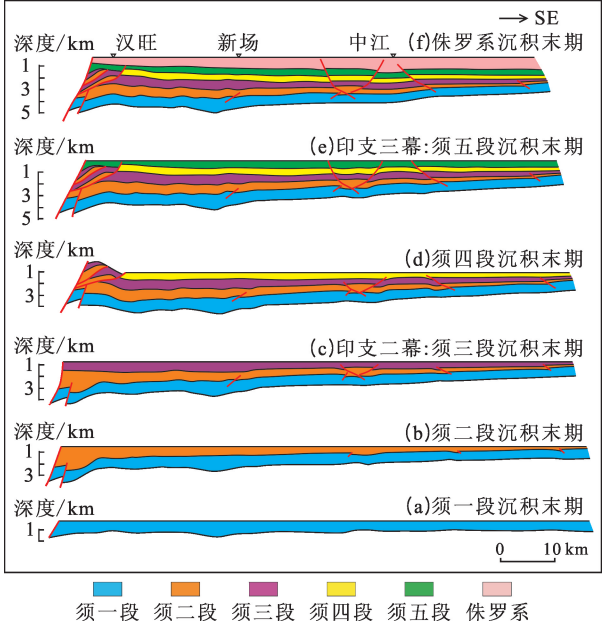


图 3 川西前陆盆地构造演化过程(L4 测线,见图 1)

Fig. 3 Tectonic evolution of western Sichuan foreland basin

1.2.2 前陆强烈隆升期

晚三叠世的中期(图 2 和图 3),即须四段开始接受沉积时期,在安县运动的作用下^[26, 30-31] 龙门山北段继续隆升遭受剥蚀,龙门山中段和南段也开始强烈抬升遭受剥蚀,并向盆地提供物源;须五段沉积期,主要受江南古陆的影响沉积了一套湖泛泥岩,发育三角洲和湖泊沉积。

1.2.3 前陆构造衰亡期

晚三叠世末期,即印支运动晚期(图 3),甘孜-阿坝造山带形成^[25-26],秦岭造山带耸立,上三叠统与侏罗系的界面表现为区域性构造不整合界面,在龙门山中北段和米仓山—大巴山前缘的地表露头区,下侏罗统白田坝组呈角度不整合覆于须家河组的不同层位上,其下伏地层已褶皱变形。

2 构造层序地层

2.1 层序界面的识别

构造层序地层的界面一般是一个区域性的不整合及其对应的整合面,是由构造运动和基准面突然下降叠加的结果^[2]。通过野外露头 and 钻井层序界面的识别,结合地震层序地层划分,是进行全盆地层序地层划分与对比的基础^[27]。

川西坳陷须家河组露头剖面出露较好,三维地震数据基本连片,探井分布相对分散,为层序地层边界的识别提供了很好的依据。此次研究在研究区内目的层自下而上共识别出 4 个构造层序边界,分别为 SSB1 ~ SSB4,其中 SSB1 和 SSB4 同样是一个一级层序界面(表 1)。

SSB1 为上三叠统与中、下三叠统之间的一个区域性构造不整合面,对应于印支一幕。在地震上,该界面对应于 T6 反射界面,马鞍塘组和小塘子组自西向东不断减薄,地震反射上表现为对下伏地层的上超终止。

SSB2 为须一段(马鞍塘组和小塘子组,图 2)与须二段之间的一个平行不整合面。该界面在地震剖

面上对应于 T62,表现为须二段对须一段的不断上超,上超终止于研究区新都—中江一带。

SSB3 为须三段与须四段之间的一个次级构造运动不整合面,对应于印支二幕。该界面在地震剖面上反射明显,侧向延伸稳定,具有明显的削蚀现象,表现为微角度不整合面,并被钻井资料证实是安县运动的产物^[28]。

SSB4 为三叠系与侏罗系之间的一个区域性构造不整合面,对应于印支三幕。在地震上,该界面对应于 T5 反射界面,在龙门山前可以识别出明显的上超终止和削截现象。

2.2 层序结构分析

在层序界面识别的基础之上,将川西坳陷须家河组划分了 3 个构造层序,自下而上分别为:TS1(马鞍塘组、小塘子组)、TS2(须二段、须三段)和 TS3(须四段、须五段)。在 TS1 层序发育期,龙门山及其前缘沉降,海水向东缓慢侵进,川西坳陷为被动大陆边缘盆地^[29]。为了揭示前陆盆地构造层序的发育特征,将 TS2 层序和 TS3 层序作为本次研究的重点(图 4,井位位置见图 5)。

表 1 须家河组构造层序边界识别特征

Table 1 Characteristics of tectono-stratigraphy boundaries in Xujiahe Formation

层序界面	单井标志		地震标志		野外露头	地质解释
	录井特征	测井特征	地震特征	反射界面		
SSB1	岩性突变	曲线幅度突变	上超、削截	T6	古土壤、风化壳	区域性构造不整合,印支一幕
SSB2	岩性、岩相转换面	曲线形态突变	上超	T62	岩性突变	平行不整合
SSB3	岩性、岩相转换面	曲线形态突变	上超	T64	须四底部厚层冲积扇砾岩超覆在须三段之上	次级构造不整合,印支二幕
SSB4	岩性突变	曲线幅度突变	削截	T5	须家河组顶部地层遭受强烈剥蚀	区域性构造不整合,印支三幕

2.2.1 TS2 层序结构

这一时期松潘甘孜造山带隆升^[29],海水逐渐退出盆地,TS2 层序发育在这种周缘前陆盆地背景下由须二段、须三段组成。受盆地构造沉降和沉积物供给的影响,该层序由 NW 至 SE 方向逐渐减薄,层序的底部表现为对 TS1 层序的上倾超覆(图 6 和图 7),层序的顶部由于后期的构造抬升,在靠近龙门山一侧遭受剥蚀。

须二段沉积期相当于 TS2 层序的强烈造山期体系域,前陆盆地处于挤压活动期,构造活动强度自北向南逐渐加强。盆地不同位置层序结构的发育样式有所差异,龙门山前由于强烈的造山运动,物源供给能力强,构造作用产生的可容空间相对较小,沉积物

填平补齐;坳陷内部构造作用产生的可容空间很小,龙门山的沉积物经过长距离的搬运到坳陷内部,形成须二段厚层砂体,指示一种强物源供给、低可容空间环境。

须三段沉积期相当于 TS2 层序的构造宁静期体系域,发育在前陆盆地构造宁静期。这一时期,盆地不同位置形成的层序结构具有一定的差异性,龙门山前物源供给能力较弱,构造沉降形成的可容空间相对较大,沉积物多在山前堆积;在盆地内部,由于造山运动停止,挤压应力促使地壳发生挠曲作用形成可容空间,盆地沉降速率大于沉积物堆积速率,沉积物以细粒的泥岩、粉砂岩为主。

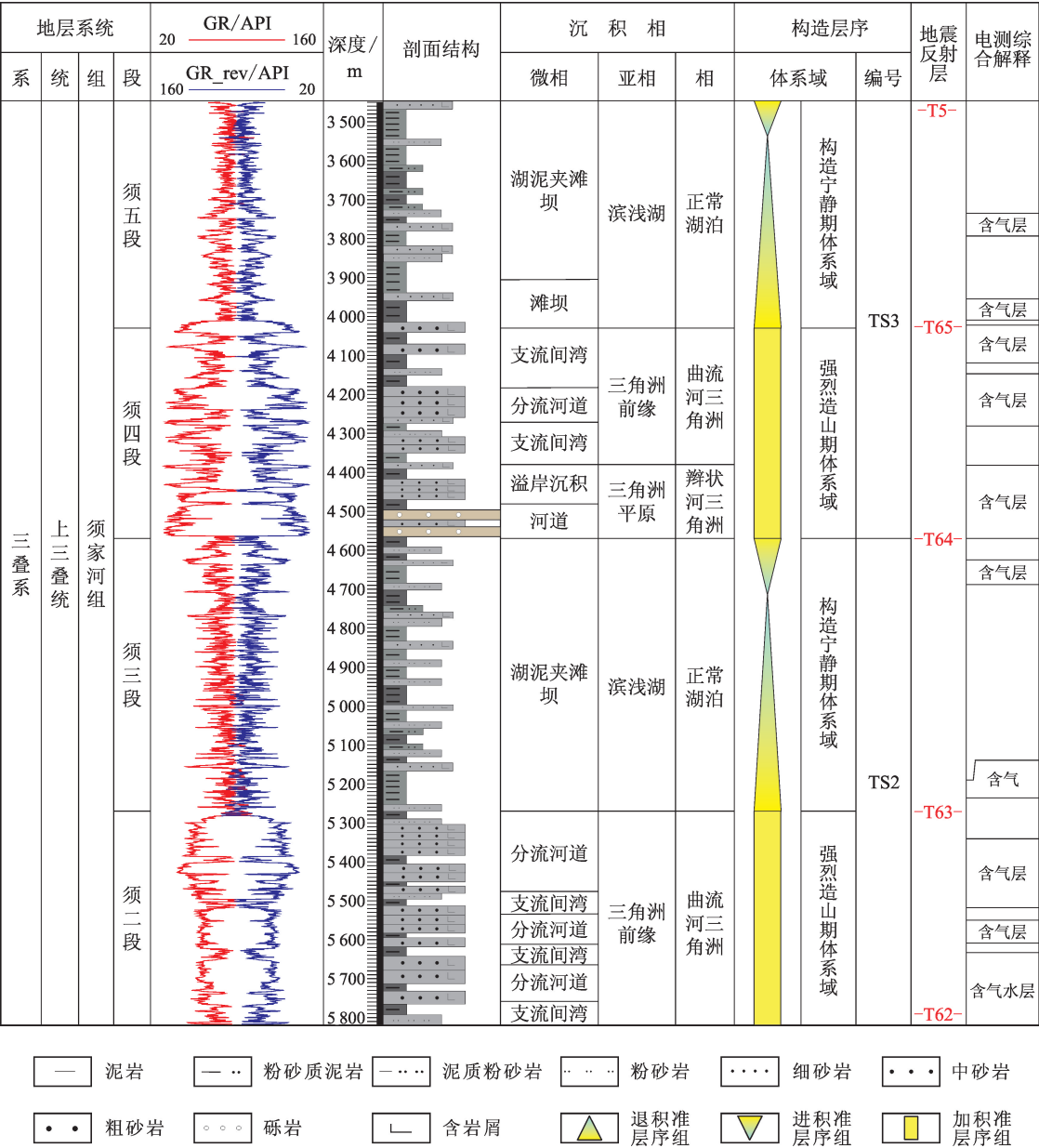


图 4 德阳 1 井须家河组层序地层及沉积相综合分析图

Fig. 4 Sequence stratigraphy and sedimentary facies analysis of Xujiache Formation in well DeY1

2.2.2 TS3 层序结构

这一时期发育的构造层序与 TS2 层序相似,由粗粒强烈造山期体系域(须四段)和细粒构造宁静期体系域(须五段)组成。TS3 构造层序发育时期,由于受印支二幕安县运动的影响^[30-31],龙门山进入强烈隆升阶段,相比于 TS2 构造层序,这一时期龙门山隆升的幅度更大,不仅龙门山北段遭受剥蚀,龙门山中段和南段也开始遭受剥蚀,向盆地供源。TS3 构造层序在整个盆地均有发育,该层序由 NW 至 SE 方向逐渐加厚。由于印支运动晚期的强烈造山运动,层序顶部遭受强烈的剥蚀,并且剥蚀作用由北向南逐渐减弱(图 6 和图 7,剖面位置见图 5)。

须四段沉积期相当于 TS3 层序的强烈造山期体系域,与须二段具有相似性,同样发育在前陆盆地挤压活动期,隆升幅度自北向南逐渐加强。在龙门山前,由于造山运动,物源供给能力强,构造挤压形成的可容空间相对较小,沉积物填平补齐;在盆地中心,由于长轴物源的汇聚,构造作用产生的可容空间相对较小,因此形成须四段厚层砂体,指示一种强物源供给、低可容空间的沉积环境。

须五段沉积期相当于 TS3 层序的构造宁静期体系域,与须三段具有相似性,发育在前陆盆地构造宁静期。这一时期,川西坳陷北部已经完全隆升成陆地形成剥蚀区,湖滨岸线退至安县一线,广泛发育细

粒沉积物。

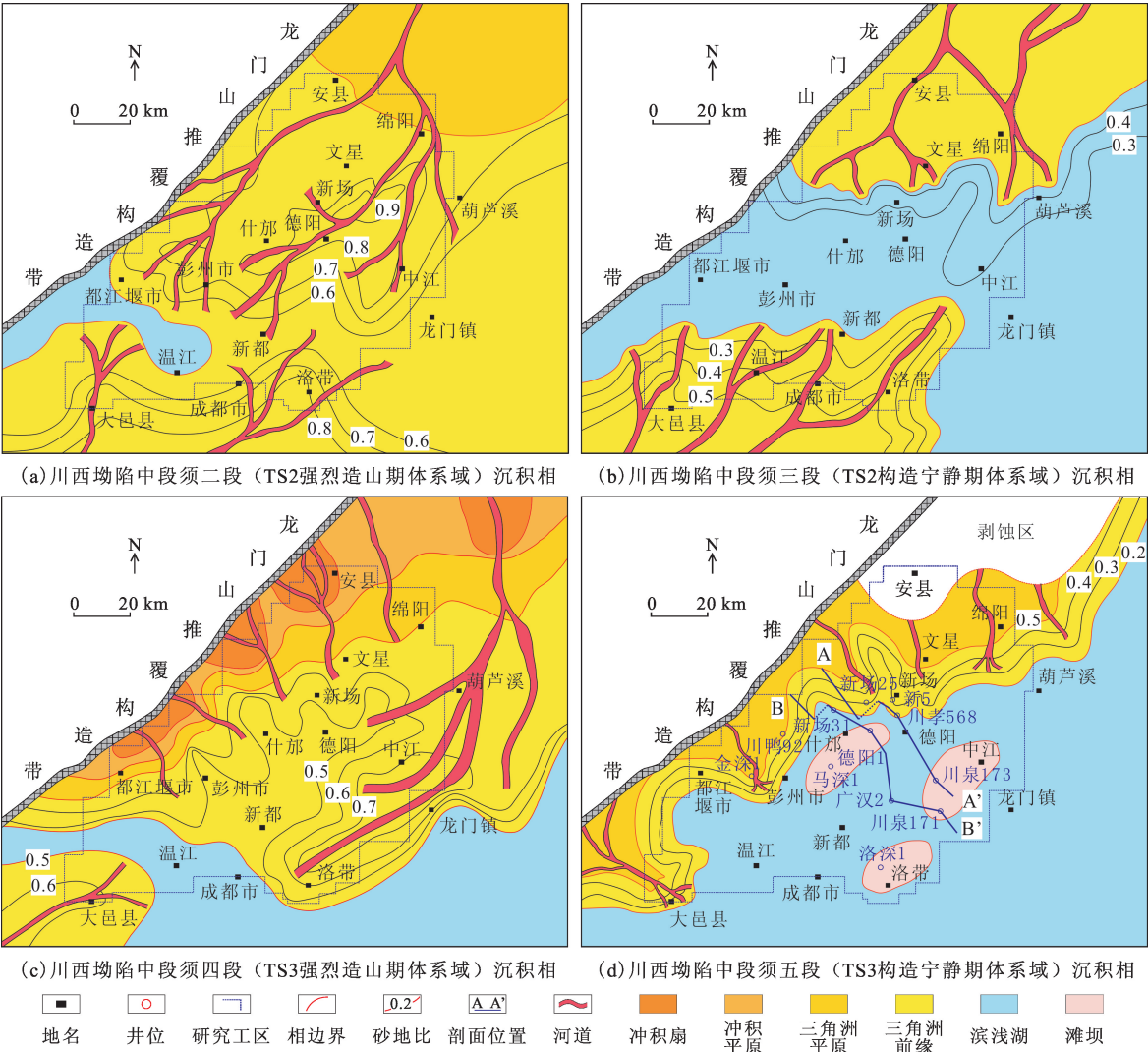


图5 川西坳陷中段须家河组前陆盆地期沉积相

Fig.5 Depositional facies maps of Xujiache Formation in middle part of western Sichuan depression

3 沉积充填响应特征

构造层序是一期构造事件的记录,构造作用决定了不同层序或同一层序不同位置在三维空间上层序结构的差异性,进而分配了层序内部的沉积物充填。以“二元体系域”为单元,选取 138 口重点井进行单井沉积相分析,然后进行连井相和地震相分析,在此基础上综合考虑平面砂地比分布,对川西坳陷中段须家河组进行沉积相编图(图 5),从平面上更直观地阐明构造对沉积的控制作用。

3.1 强烈造山期体系域发育粗粒沉积建造

须二段沉积期(TS2 强烈造山期体系域,图 5 (a)),龙门山自北向南开始缓慢隆升,长轴方向的龙门山北段和康滇古陆主要为研究区供源,平面上发育以曲流河三角洲—滨浅湖为主的沉积体系。

须四段沉积期(TS3 强烈造山期体系域,图 5 (c)),由于安县运动龙门山再次发生剧烈抬升,与须二段相比较,其隆升范围扩大到龙门山中段—南段。这一时期,除了 TS2 层序发育期的长轴物源,来自龙门山中段的短轴物源也开始为研究区供源,形成了“长轴短轴汇聚、近源远源汇砂”的格局。剖面上(图 7)在龙门山前的推覆构造带发育以冲积扇—扇三角洲为主的沉积体系,在前隆斜坡位置发育以辫状河三角洲—滨浅湖为主的沉积体系。平面上,研究区内发育冲积扇—冲积平原—辫状河三角洲—湖泊沉积体系。

3.2 构造宁静期体系域发育细粒沉积建造

须三段沉积期(TS2 构造宁静期体系域,图 5 (b)),龙门山处于构造宁静期,山体隆升幅度低,物源体系与须二段具有继承性,主要为长轴方向的龙

门山北段和康滇古陆,供源能力较弱,平面上以广泛

发育的滨浅湖沼泽沉积为主,植被大量发育。

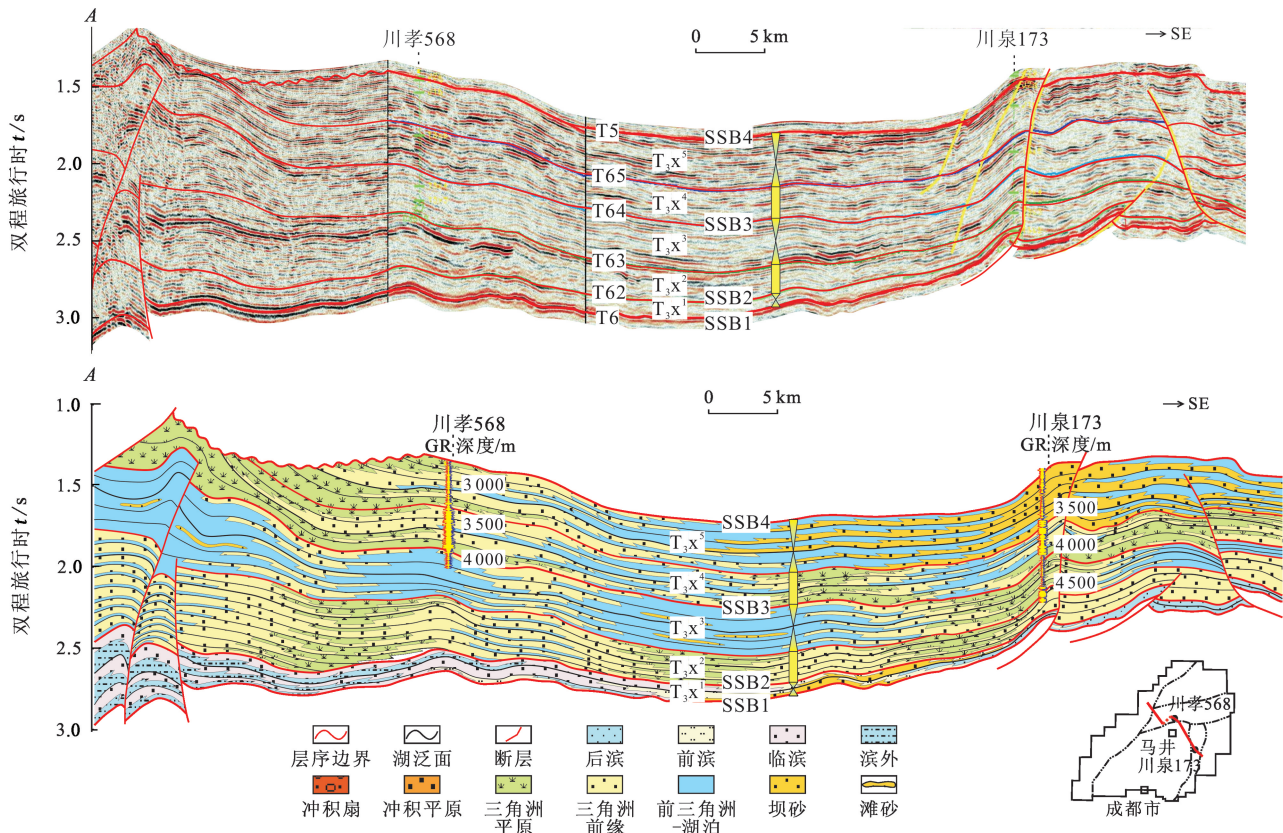


图 6 过川孝 568—川泉 173 井连井构造层序和沉积相解释剖面

Fig. 6 Tectono-stratigraphy and facies interpretational sections passing towards CX568 and CQ173

须五段沉积期 (TS3 构造宁静期体系域,图 5 (d)),与须三段相似,龙门山进入构造宁静期,物源体系继承了须四段,但是由于供源能力较弱,研究区内广泛发育滨浅湖沼泽沉积。末期,受印支三幕的影响,地层发生大面积的剥蚀。

3.3 同一时期不同构造单元分配不同沉积体系

前陆盆地在平面上具有构造分带性,根据其活动性质可以划分为逆冲推覆带、前缘拗陷带、前陆斜坡带和前陆隆起带^[1-4, 28-31]。在不同的构造位置,由于构造沉降产生的可容空间不同,沉积物供给也各有差异,导致其沉积物充填各具特点。

自逆冲推覆带到前缘拗陷带沉积物粒度逐渐变细,发育一套冲积扇—冲积平原—辫状河三角洲—湖泊沉积体系。以强烈造山期体系域为例,逆冲推覆带一般发育冲积扇—冲积平原粗粒沉积体系,可见砾石、冲刷泥砾和大型交错层理等现象(图 8(a)和(b));进入前缘拗陷,沉积体系以辫状河三角洲前缘为主,由于可容空间较小,垂向上多期分支河道相互叠置,泥砾、平行层理和大型交错层理常见,其中须二段可见变形构造(图 8(c)),须四段与须二

段相比,由于龙门山中段已经开始强烈隆升,其沉积物粒度比须二段要粗;前陆隆起带由于坡度相对较缓^[33],构造产生可容空间较小,沉积物供给强烈,可见冲刷泥砾和波状交错层理(图 8(d))。

4 构造—沉积充填模式

关于前陆盆地的演化与沉积充填国内外学者开展过大量研究^[1-4, 10-15, 32-37]。Catuneanu 认为前陆盆地的沉降机制除了挠曲变形,还有由地幔拐角流引起的动态沉降,进而将前陆盆地演化分为欠补偿阶段、充填阶段和过补偿阶段^[33];Clevis 等^[34]通过三维计算机模拟对前陆盆地演化进行正演,结果显示前陆盆地的构造活动分为活动期和宁静期,在构造活动期,沉积物以短轴体系粗粒冲积扇—辫状河三角洲为主,在构造宁静期,沉积物以长轴体系细粒曲流河三角洲—滨浅湖为主;纪友亮等^[35-37]对中国典型前陆盆地的层序结构和沉积演化进行研究,认为前陆盆地的演化可以分为构造宁静期、强烈活动高峰早期和晚期 3 个阶段。

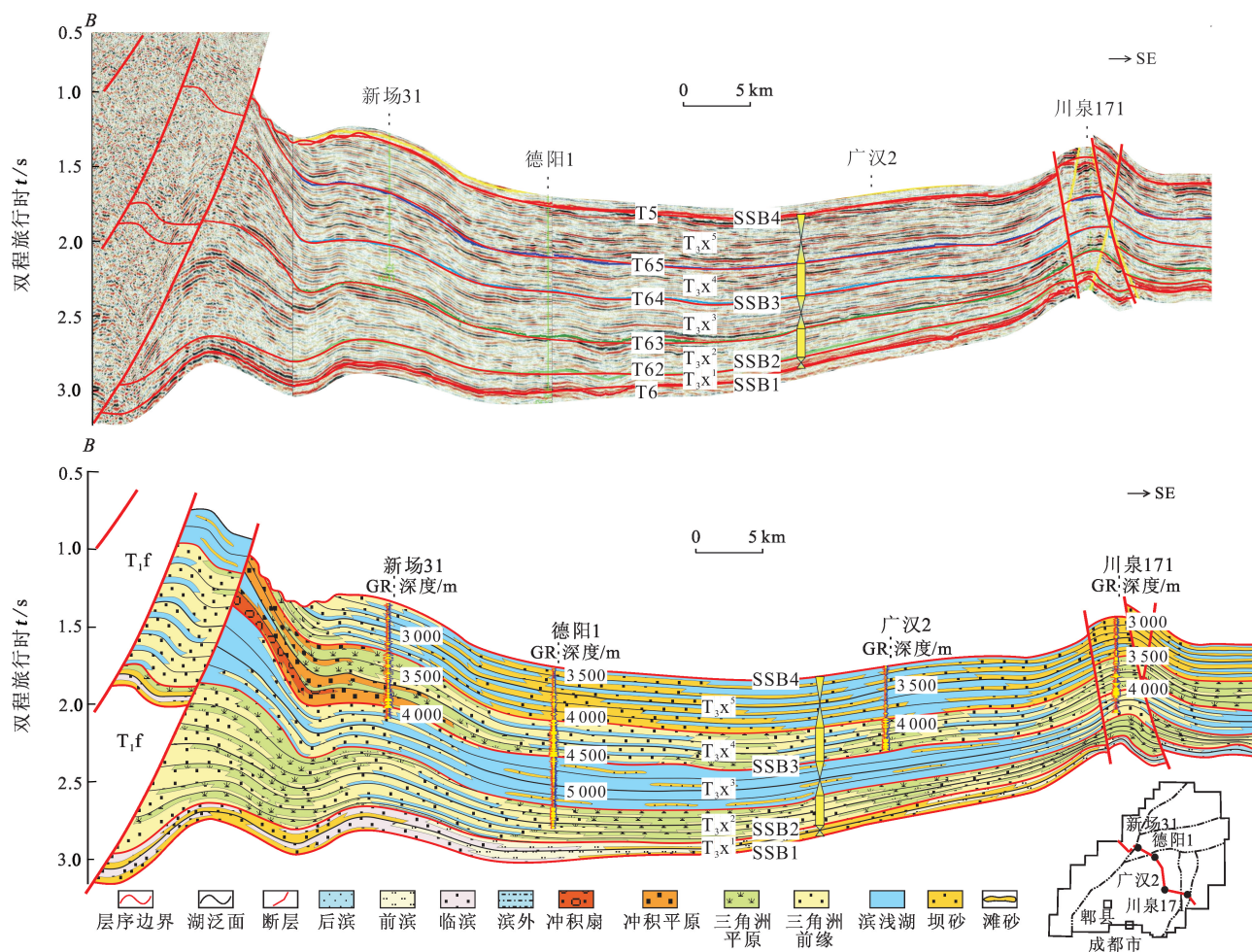


图7 过新场31—德阳1—广汉2—川泉171井连井构造层序和沉积相解释剖面图

Fig. 7 Tectono-stratigraphy and facies interpretational sections passing towards XC31, DeY1, GH2 and CQ171

川西须家河组前陆盆地与国内外典型前陆盆地的沉降机制和构造演化等方面整体具有相似性,但受控于盆地性质、幕式造山期次和物源体系等因素的影响,又具有特殊性,主要表现在:①龙门山逆冲推覆活动具有多期次、多阶段的特点,伴随着龙门山强烈造山期和宁静期交替出现;②受剪刀式俯冲^[32]作用的影响,龙门山的抬升自北向南幅度逐渐增强,决定了盆地内沉积充填序列的差异。

此次研究以川西前陆盆地为例总结了发育在前陆盆地背景下的构造—沉积充填模式。根据前陆盆地的幕式造山运动及内部沉积充填响应特征,将川西前陆盆地的演化分为2种模式(图9(a)和(b)):前陆盆地构造宁静期细粒沉积模式和前陆盆地强烈造山期粗粒沉积模式。

4.1 前陆盆地构造宁静期细粒沉积模式

这种类型的沉积模式发育在前陆盆地构造宁静期,研究区内对应于须三段和须五段。这一时期,由

于构造活动不强烈,山体隆升幅度低,并且常年遭受剥蚀,物源供给能力较弱,因此粗粒的碎屑沉积物多局限在龙门山前,形成冲积扇和扇三角洲沉积体系,相带范围较窄,盆地内部多以细粒沉积物为主,发育滨浅湖—沼泽相沉积体系。

4.2 前陆盆地强烈造山期粗粒沉积模式

这种类型的沉积模式发育在前陆盆地强烈造山期,研究区内对应于须二段和须四段。这一时期,区别于构造宁静期沉积模式,由于构造活动强烈,山体隆升幅度高,物源供给能力较强,因此沉积物多以粗粒碎屑物质为主。沉积相带展布与构造宁静期相似,粗粒沉积物往往发育在靠近龙门山的推覆构造带,而向盆地中央,其粒度逐渐变细。同一时期不同构造区带沉积体系不同(图5和图8),同一位置不同时期的沉积演化在垂向上也具有差异性(图9(c))。在逆冲推覆带,强烈造山期体系域和构造宁静期体系域均发育加积式准

层序组,其中造山期为粗粒加积准层序组,宁静期发育细粒加积准层序组;进入前缘坳陷带沉积物粒度逐渐变细,强烈造山期体系域由加积准层序组逐渐过渡到退积准层序组,在构造宁静期体系域可以识别出构造层序的最大湖泛面;在前陆斜

坡带,强烈造山期体系域发育粗粒加积准层序组,构造宁静期体系域由退积和进积准层序组构成;前陆隆起带与逆冲推覆带的体系域构成具有相似性,但是由于构造活动不强烈,整体粒度较细。

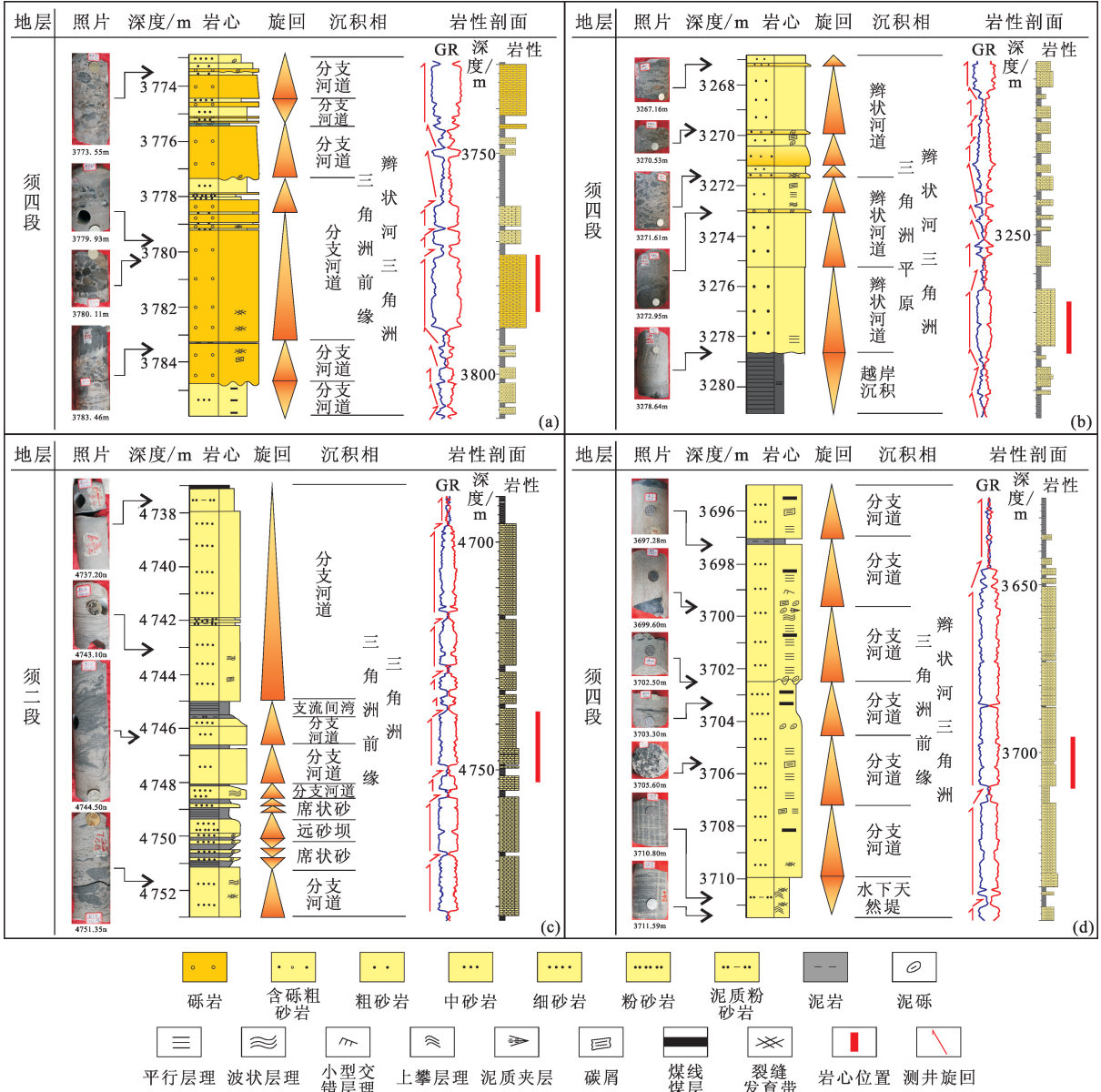


图 8 前陆盆地不同构造位置沉积物充填特征(井位位置见图 5)
Fig. 8 Sedimentary infill characteristics in different tectonic area of western Sichuan foreland basin

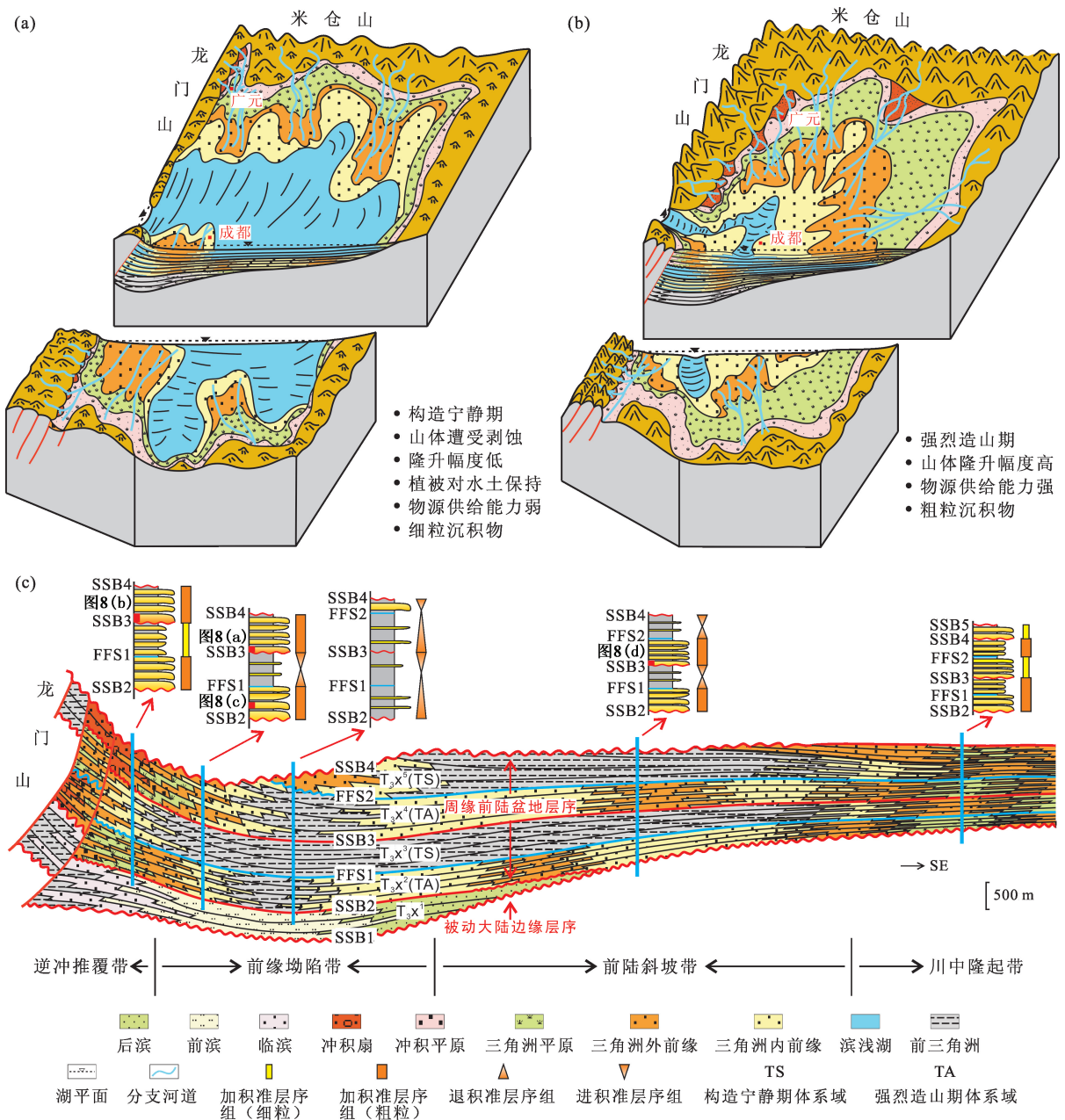


图 9 川西前陆盆地构造-沉积充填模式

Fig. 9 Sedimentary infill model with tectono-controlled of western Sichuan foreland basin

5 结 论

(1) 川西坳陷在须家河组沉积期为典型的周缘前陆盆地, 构造演化经历了造山初期—强烈造山期—构造宁静期—强烈造山期—构造宁静期 5 个阶段, 分别对应于须一段—须五段沉积期。不同的构造运动决定了不同层序或同一层序不同位置在三维空间上层序结构的差异性, 进而分配了层序内部的沉积物充填。

(2) 川西坳陷须家河组在前陆盆地期(须二

段—须五段沉积期), 可以划分为 TS2 和 TS3 两个构造层序, 前者由须二段和须三段组成, 后者由须四段和须五段组成, 其中须二段和须四段为强烈造山期体系域, 须三段和须五段为构造宁静期体系域。

(3) 强烈造山期层序以粗粒沉积为主, 发育冲积扇—辫状河三角洲—湖泊沉积体系, 构造宁静期层序以细粒沉积为主, 发育曲流河三角洲—滨浅湖沉积体系。

(4) 川西须家河组前陆盆地的演化模式可以划分为 2 种, 分别为前陆盆地构造宁静期细粒沉积模式和前陆盆地强烈造山期粗粒沉积模式。

参考文献:

- [1] 夏文臣,张宁,袁晓萍,等.柴达木侏罗系的构造层序及前陆盆地演化[J].石油与天然气地质,1998,19(3):3-10.
XIA Wenchen, ZHANG Ning, YUAN Xiaoping, et al. Jurassic tectonic sequences of Qaidam and foreland basin evolution [J]. Oil and Gas Geology, 1998,19(3):3-10.
- [2] 郑荣才,朱如凯,戴朝成,等.川东北类前陆盆地须家河组盆-山耦合过程的沉积-层序特征[J].地质学报,2008,82(8):1077-1087.
ZHENG Rongcai, ZHU Rukai, DAI Chaocheng, et al. Depositional sequence features during coupling process between basin and mountain of the Xujiahe Formation of Upper Triassic in the Foreland Basin, NE Sichuan [J]. Acta Geologica Sinica, 2008,82(8):1077-1087.
- [3] 刘树根,童崇光,罗志立,等.川西晚三叠世前陆盆地的形成与演化[J].天然气工业,1995,15(2):11-15.
LIU Shugen, TONG Chongguang, LUO Zhili, et al. The formation and evolution of late Triassic foreland basin in west Sichuan [J]. Natural Gas Industry, 1995,15(2):11-15.
- [4] 乐光禹.大巴山造山带及其前陆盆地的构造特征和构造演化[J].矿物岩石,1998,18(s1):14-21.
YUE Guangyu. Tectonic characteristics and tectonic evolution of Dabashan orogenic belt and its foreland basin [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 1998,18(s1):14-21.
- [5] 蔡希源,李思田.陆相盆地高精度层序地层学:隐蔽油气藏勘探基础、方法与实践[M].北京:地质出版社,2003:36-41.
- [6] DECELLES P G, GILES K A. Foreland basin system [J]. Basin Research, 1996,8:105-123.
- [7] JORDAN T E. Thrust loads and foreland basin evolution, Cretaceous, western United States [J]. AAPG Bull, 1981,65:2506-2520.
- [8] SALVANY J M, LARRASOÑÁ J C, MEDIÁVILLA C, et al. Chronology and tectono-sedimentary evolution of the Upper Pliocene to Quaternary deposits of the lower Guadalquivir foreland basin, SW Spain [J]. Sedimentary Geology, 2011,241(1/2/3/4):22-39.
- [9] VAN WAGONER J C. Overview of sequence stratigraphy of foreland basin deposits: terminology, summary of papers, and glossary of sequence stratigraphy [J]. AAPG Memoir, 1995,64:9-21.
- [10] 林畅松,刘景彦,张燕梅,等.库车坳陷第三系构造层序的构成特征及其对前陆构造作用的响应[J].中国科学:D辑 地球科学,2002,32(3):177-183.
LIN Changsong, LIU Jingyan, ZHANG Yanmei, et al. The characteristics of Eogene tectonic sequence stratigraphy and effect on response of foreland tectonic movement of the Palaeogene Kuqa depression [J]. Science in China (ser D), 2002,32(3):177-183.
- [11] 刘池洋,赵红格,杨兴科,等.前陆盆地及其确定和研究[J].石油与天然气地质,2002,23(4):307-313.
LIU Chiyang, ZHAO Hongge, YANG Xingke, et al. Foreland basin and its definition and research [J]. Oil and Gas Geology, 2002,23(4):307-313.
- [12] 刘和甫.前陆盆地类型及褶皱-冲断层样式[J].地学前缘,1995,2(3):59-63.
LIU Hefu. Classification of foreland basins and fold thrust style [J]. Earth Science Frontiers, 1995,2(3):59-63.
- [13] 魏国齐,贾承造,施央申,等.塔里木新生代复合再生前陆盆地构造特征与油气[J].地质学报,2000,74(2):123-133.
WEI Guoqi, JIA Chengzao, SHI Yangshen, et al. Tectonic characteristics and petroleum prospects of Cenozoic compound rejuvenated foreland basins in Tarim [J]. Acta Geologica Sinica, 2000,74(2):123-133.
- [14] 孙娇鹏,陈世悦,彭渊,等.柴北缘构造带泥盆纪构造属性研究[J].中国石油大学学报(自然科学版),2015,39(2):23-30.
SUN Jiaopeng, CHEN Shiyue, PENG Yuan, et al. Research on Northern Qaidam tectonic attributes during Devonian [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2015,39(2):23-30.
- [15] 吴孔友,瞿建华,王鹤华.准噶尔盆地大侏罗沟断层走滑特征、形成机制及控藏作用[J].中国石油大学学报(自然科学版),2014,38(5):41-47.
WU Kongyou, QU Jianhua, WANG Hehua. Strike-slip characteristics, forming mechanisms and controlling reservoirs of Dazhuluogou fault in Junggar Basin [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2014,38(5):41-47.
- [16] 罗志立,龙学明.龙门山造山带崛起和川西陆前盆地沉降[J].四川地质学报,1992,12(1):1-17.
LUO Zhili, LONG Xueming. The uplifting of the Longmenshan orogenic zone and the subsidence of the west Sichuan foreland basin [J]. Acta Geologica Sichuan, 1992,12(1):1-17.
- [17] 刘金华,张世奇,孙耀庭,等.川西前陆盆地上三叠统须家河组地层的划分对比及沉积演化[J].地层学杂志,2007,31(2):190-196.
LIU Jinhua, ZHANG Shiqi, SUN Yaoting, et al. Correlation and evolution of the upper Triassic Xujiahe formation

- tion in the west Sichuan foreland basin[J]. *Journal of Stratigraphy*, 2007,31(2):190-196.
- [18] 雍自权,刘庆松,李倩. 川西前陆盆地的发展演化、地层充填及其对油气成藏的意义[J]. *天然气工业*, 2008,28(2):26-29.
- YONG Ziquan, LIU Qingsong, LI Qian. Evolution and sediment filling of western Sichuan foreland basin and their significance of hydrocarbon accumulation [J]. *Natural Gas Industry*, 2008,28(2):26-29.
- [19] 邢焕清,姜在兴,王亚青,等. 川西前陆盆地上三叠统须家河组二段可容空间转换系统的成因与演化[J]. *石油与天然气地质*, 2004,25(5):519-523.
- XING Huanqing, JIANG Zaixing, WANG Yaqing, et al. Genesis and evolution of accommodation transformation systems in 2nd member of Upper Triassic Xujiahe Formation, Chuanxi foreland basin[J]. *Oil and Gas Geology*, 2004,25(5):519-523.
- [20] 李智武,刘树根,陈洪德,等. 龙门山冲断带分段-分带性构造格局及其差异变形特征[J]. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 2008,35(4):440-454.
- LI Zhiwu, LIU Shugen, CHEN Hongde, et al. Structural segmentation and zonation and differential deformation across and along the Longmen thrust belt, West Sichuan, China [J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science and Technology Edition)*, 2008, 35(4):440-454.
- [21] 陈洪德,徐胜林,林良彪,等. 龙门山造山带晚三叠世构造隆升的分段性及层序充填响应[J]. *沉积学报*, 2011,29(4):622-630.
- CHEN Hongde, XU Shenglin, LIN Liangbiao, et al. Segmental uplift of Longmenshan Orogen and sequence filling characteristic of western Sichuan foreland-like Basin, Late Triassic [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2011,29(4):622-630.
- [22] 李嵘,张娣,朱丽霞. 四川盆地川西坳陷须家河组砂岩致密化研究[J]. *石油实验地质*, 2011,33(3):274-281.
- LI Rong, ZHANG Di, ZHU Lixia. Densification of Upper Triassic Xujiahe tight sandstones, western Sichuan, China [J]. *Petroleum Geology and Experiment*, 2011, 33(3):274-281.
- [23] 安红艳,时志强,张慧娟,等. 川西坳陷中段中侏罗统沙溪庙组储层砂岩物源分析[J]. *四川地质学报*, 2011,31(1):29-33.
- AN Hongyan, SHI Zhiqiang, ZHANG Huijuan, et al. On material source of sandstone reservoir of the Middle Jurassic Shaximiao formation in west Sichuan depression [J]. *Acta Geologica Sichuan*, 2011,31(1):29-33.
- [24] 李智武,刘树根,林杰,等. 川西坳陷构造格局及其成因机制[J]. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 2009, 36(6):645-653.
- LI Zhiwu, LIU Shugen, LIN Jie, et al. Structural configuration and its genetic mechanism of the west Sichuan depression in China [J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science and Technology Edition)*, 2009,36(6):645-653.
- [25] 李伟. 四川盆地晚三叠世咸化环境的形成与沉积体系的演化特征[J]. *天然气工业*, 2011,31(9):31-38.
- LI Wei. Formation of a saline environment and evolution of a sedimentary system in the Late Triassic reservoirs of the Sichuan Basin[J]. *Natural Gas Industry*, 2011,31(9):31-38.
- [26] 姜在兴,田继军,陈桂菊,等. 川西前陆盆地上三叠统沉积特征[J]. *古地质量学报*, 2007,9(2):143-154.
- JIANG Zaixing, TIAN Jijun, CHEN Guiju, et al. Sedimentary characteristics of the Upper Triassic in western Sichuan foreland basin[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2007,9(2):143-154.
- [27] CATUNEANU O. *Principles of sequence stratigraphy*[M]. Amsterdam: Elsevier, 2006:375.
- [28] 罗启后. 安县运动对四川盆地中西部上三叠统地层划分对比与油气勘探的意义[J]. *天然气工业*, 2011, 31(6):21-27.
- LUO Qihou. Significance of the Anxian Movement to the stratigraphic division and correlation of the Upper Triassic formations and their hydrocarbon exploration in the wester-central Sichuan Basin[J]. *Natural Gas Industry*, 2011,31(6):21-27.
- [29] 陈竹新,贾东,魏国齐,等. 川西前陆盆地中-新生代沉积迁移与构造转换[J]. *中国地质*, 2008,35(3):472-481.
- CHEN Zhuxin, JIA Dong, WEI Guoqi, et al. Meso-Cenozoic sediment transport and tectonic transition in the western Sichuan foreland basin[J]. *Geology in China*, 2008,35(3):472-481.
- [30] 邓康龄. 龙门山构造带印支期构造递进变形与变形时序[J]. *石油与天然气地质*, 2007,28(4):485-490.
- DENG Kangling. Indosinian progressive deformation and its chronogenesis in Longmenshan structural belt [J]. *Oil and Gas Geology*, 2007,28(4):485-490.
- [31] 王金琪. 龙门山印支运动主幕辨析:再论安县构造运动[J]. *四川地质学报*, 2003,23(2):65-69.
- WANG Jinqi. Recognition on the main episode of Indo-China Movement in the Longmen Mountains [J]. *Acta Geologica Sichuan*, 2003,23(2):65-69.
- [32] 杨永华,纪友亮,曹瑞成,等. 蒙古塔木察格盆地塔南

- 凹陷下白垩统层序结构类型、控制因素与层序发育模式[J]. 现代地质, 2009, 23(4): 655-666.
- YANG Yonghua, JI Youliang, CAO Ruicheng, et al. Types of sequences, controlling factors and sequence models for Lower Cretaceous of Tanan depression in Tamtsag Basin, Mongolia [J]. Geoscience, 2009, 23(4): 655-666.
- [33] CATUNEANU O. Retroarc foreland systems-evolution through time [J]. Journal of African Earth Sciences, 2004, 38: 225-242.
- [34] CLEVIS Q, DE BOER P L, NIJMAN W. Differentiating the effect of episodic tectonism and eustatic sea-level fluctuations in foreland basins filled by alluvial fans and axial deltaic systems: insights from a three-dimensional stratigraphic forward model [J]. Sedimentology, 2004, 51: 809-835.
- [35] 纪友亮, 潘春孚, 高志勇, 等. 逆冲活动对淮南前陆盆地层序构成的影响及意义[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2011, 39(4): 614-619.
- JI Youliang, PAN Chunfu, GAO Zhiyong, et al. Influence of thrust tectonism on sequence contexture of Southern Junggar Foreland Basin and its significance [J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2011, 39(4): 614-619.
- [36] 纪友亮, 安爱琴, 朱如凯. 陆相前陆盆地层序结构特征研究: 以准噶尔南缘晚期前陆盆地为例[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(2): 237-243.
- JI Youliang, AN Aiqin, ZHU Rukai. Research on sequence architectures of continental foreland basins: a case study of the late stage of southern Junggar foreland basin [J]. Oil and Gas Geology, 2008, 29(2): 237-243.
- [37] JI Youliang, PAN Chunfu, ZHOU Yong, et al. Sequence characteristics of foreland Basin and its difference from those of other types of basin [J]. Journal of Earth Science, 2011, 22(6): 737-754.
- [38] VAN WAGONER J C, MITCHUM R M, CAMPION K M, et al. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores and outcrops [M]. Tulsa, OK (USA): American Association of Petroleum Geologists, 1990.

(编辑 修荣荣)